



TESIS

**OPTIMASI TATA GUNA LAHAN PELABUHAN
DENGAN METODE LINEAR PROGRAMMING**

ANDARMADI JATI ABDHI WASESA
9115201302

DOSEN PEMBIMBING
NURHADI SISWANTO S.T., M.S.I.E., Ph.D

PROGRAM MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN IDUSTRI
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANDARMADI JATI ABDHI WASESA
NRP. 9115201302

Tanggal Ujian : 21 Juli 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh :


1. **Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, PhD**
NIP : 197005231996011001

(Pembimbing)


2. **Dr. Dyah Santhi Dewi, ST, MEngSc**
NIP : 197208251998022001

(Penguji)


3. **Prof. Dr. Ir. Moses L. Singgih., M.Sc, MRegSc**
NIP : 195908171987031002

(Penguji)

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi


Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M. Eng.Sc
NIP. 19590318 198701 1 001

OPTIMASI TATA GUNA LAHAN PELABUHAN DENGAN METODE LINEAR PROGRAMMING

Nama mahasiswa : Andarmadi Jati Abdhi Wasesa
NRP : 9115201302
Dosen Pembimbing : Nurhadi Siswanto S.T., M.S.I.E., Ph.D

ABSTRAK

Kegiatan operasional pelabuhan, selain aktivitas bongkar muat, juga terdapat aktivitas bisnis penyewaan tanah. Tanah pelabuhan disewakan untuk menunjang kegiatan bongkar muat di dermaga. Maka dari itu, bisnis penyewaan lahan adalah usaha penunjang bisnis utama yang memainkan peran vital bagi kelancaran operasional pelabuhan. Lahan disewakan berdasarkan zonasi peruntukannya. Luasan zonasi yang sesuai dengan kebutuhan akan membantu kelancaran operasional dan meningkatkan pendapatan dari sewa lahan. Penggunaan lahan yang efisien juga akan mengurangi kebutuhan reklamasi untuk pengembangan pelabuhan. Dimana saat ini reklamasi dianggap sebagai langkah yang berdampak buruk terhadap ekosistem lingkungan.

Permasalahan yang terjadi dalam perancangan zonasi pelabuhan adalah ketidaksesuaian perencanaan zonasi lahan dengan kebutuhan pengguna lahan. Banyak lahan yang kosong karena tidak sesuai dengan zonasi yang dibutuhkan pengguna lahan, sehingga menimbulkan dampak kerugian finansial bagi perusahaan. Dibutuhkan sebuah model optimasi untuk memaksimalkan keuntungan dari penggunaan lahan. Dalam penelitian ini, keuntungan dijadikan fungsi tujuan, sementara regulasi dan proyeksi kebutuhan pengguna lahan dijadikan sebagai fungsi kendala.

Dengan penggunaan linear programming sebagai metode optimasi, penelitian ini diharapkan dapat menetapkan luas alokasi lahan yang optimal untuk masing-masing zonasi lahan dengan tujuan memaksimalkan pendapatan tanpa mengabaikan regulasi yang ada.

Kata Kunci : Optimasi, Lahan, Pelabuhan, Linear programming

PORT LAND OPTIMIZATION USING LINEAR PROGRAMMING METHOD

ABSTRACT

Port operational activities, in addition to loading and unloading activities, there are also other business activities, such as land rental business. Land port leased to service users to support loading and unloading activities at the dock. Therefore, land leasing business is the supporting business that plays a vital role for the operation of the port. Land leased to customers based on zoning designation. There is a major zoning to support the needs of dock activities and additional zoning to support other maritime business. A suitable zoning area will help operations and increase revenue from land leases. Efficient land use will also reduce the need for reclamation for port development. Where reclamation is now considered a move that has a negative impact on the ecosystem of the environment.

The problem that occurs in zoning design for harbor land use is the mismatch of land zoning planning with the needs of land users. A lot of land is empty because it is not in accordance with the zoning that land users needs, thus causing financial loss impact for the company. An optimization model is needed to maximize the benefits of land use. In this study, profit is used as an objective function, while the regulation and projection of land demand as a constraint.

With the use of linear programming as an optimization method, this study is expected to establish the optimal land allocation for each land zoning in order to maximize revenue without ignoring existing regulations.

Keyword : Optimization, Land use, Port, Linear programming

KATA PENGANTAR

Puji Syukur dan terima kasih kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Selesaiannya tesis ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Nurhadi Siswanto S.T., M.S.I.E., Ph.D., selaku dosen pembimbing, yang dengan dukungan penuh memberikan bimbingan, dukungan, dan semangat hingga selesainya tesis ini.
2. Seluruh Dosen MMT ITS yang telah memberikan banyak ilmu, juga karyawan yang telah membantu kelancaran perkuliahan.
3. Ibu, ayah, dan adik yang telah memberikan semangat dan dukungan.
4. Manajemen dan rekan kerja PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) yang telah memberikan bantuan data-data yang dibutuhkan.
5. Rekan-rekan Manajemen Industri ITS angkatan 2015, dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Apabila terdapat kesalahan dan kekurangan, penulis memohon saran dan kritik dari para pembaca sehingga menjadi masukan yang bermanfaat untuk penyempurnaan tesis ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Asumsi Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tata Guna Lahan Pelabuhan	7
2.1.1 Studi Kasus Lahan di Pelabuhan Tanjung Perak.....	9
2.1.2 Perhitungan tarif sewa lahan	11
2.2 Pemrograman Linier	13
2.3 Hasil Penelitian Terdahulu	17
BAB III	19
METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Tahap tahap Penelitian	20
3.1.1 Studi Lapangan.....	20
3.1.2 Tahap Pengumpulan Data.....	20
3.1.3 Tahap Pengolahan Data, Pengembangan Model dan Optimasi.....	20
3.1.4 Penarikan Kesimpulan dan Pemberian Saran.....	21
3.2 Perencanaan Model Pengoptimalan Lahan	21
3.3 Aplikasi Model.....	22
BAB IV	24
PENGUMPULAN DATA, PENGEMBANGAN MODEL, DAN	
OPTIMASI	24
4.1 Pengumpulan data	24
4.2 Data lahan di Pelabuhan Tanjung Perak	24
4.3 Data lokasi dan kelayakan terhadap fungsi zonasi.....	26
4.4 Proyeksi kebutuhan lahan	29
4.5 Formulasi Model	31

4.5.1 Formulasi model untuk zonasi utama.....	31
4.5.2 Formulasi model untuk zonasi penunjang.....	33
4.6 Analisis Hasil Pemodelan	35
4.6.1 Analisa Sensitivitas	37
4.6.2 Analisa perubahan kendala zonasi utama.....	39
4.6.3 Analisa perbandingan pendapatan aktual	41
BAB V	43
KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Zonasi pada pelabuhan	8
Tabel 2.2 Data arus barang dan penumpang di pelabuhan Tanjung Perak.....	10
Tabel 2.3 Kebutuhan terminal berdasarkan jenis kegiatan bongkar muat.....	11
Tabel 2.4 Prosentase tarif sewa lahan di Pelabuhan Tanjung Perak.....	12
Tabel 2.5 Batasan lahan di tiap lokasi jalan.....	13
Tabel 2.6 Perbandingan dengan penelitian terdahulu	17
Tabel 2.7 Posisi penelitian	18
Tabel 4.1 Total luasan lahan Pelabuhan Tanjung Perak berdasarkan sertifikat	24
Tabel 4.2 Batasan lahan maksimal di tiap jalan.....	25
Tabel 4.3 Kategori NJOP untuk zonasi utama pelabuhan	27
Tabel 4.4 Kategori NJOP untuk zonasi penunjang pelabuhan	28
Tabel 4.5 Proyeksi kegiatan pelabuhan	29
Tabel 4.6 Proyeksi kegiatan pelabuhan	30
Tabel 4.7 Lahan yang ditempati dan alokasi menurut RIP.....	31
Tabel 4.8 Alokasi zonasi utama pada masing masing NJOP	32
Tabel 4.9 Alokasi zonasi penunjang pada masing masing NJOP.....	34
Tabel 4.10 Alokasi zonasi utama pada masing masing NJOP.....	36
Tabel 4.11 Alokasi zonasi penunjang pada masing masing NJOP.....	36
Tabel 4.12 Pendapatan dari hasil optimasi	37
Tabel 4.13 Analisa sensitivitas variabel	38
Tabel 4.14 Analisa sensitivitas kendala.....	39
Tabel 4.15 Tambahan selisih lahan sebagai batasan.....	40
Tabel 4.16 Hasil optimasi setelah perubahan kendala.....	41
Tabel 4.17 Pendapatan dari zonasi aktual.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Denah lokasi lahan yang kosong di pelabuhan tanjung perak	2
Gambar 1.2	Data histori kegiatan bongkar muat barang dan penumpang	3
Gambar 2.1	Rencana induk pelabuhan eksisting	7
Gambar 2.2	Peta ketinggian wilayah di kota Surabaya	9
Gambar 4.1	Area untuk zonasi utama pelabuhan	26

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pelabuhan laut adalah salah satu objek vital sebuah negara dimana pelabuhan memiliki peran penting dalam arus masuk barang maupun penumpang baik dari dalam negeri maupun luar negeri. Dimana peran pelabuhan tidak hanya sebatas fasilitas perpindahan barang ataupun penumpang saja, tetapi juga dalam peningkatan ekonomi daerah daratan di sekitar pelabuhan atau yang disebut *hinterland*. Arus lalu lintas barang maupun penumpang tersebut akan memberikan dampak yang cukup besar bagi perkembangan sebuah daerah.

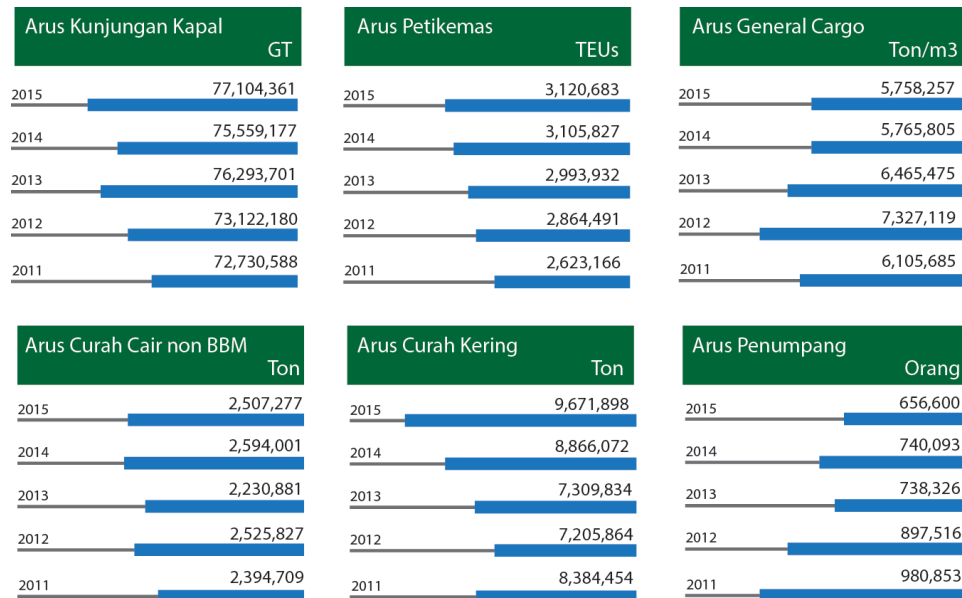
Pemerintah selaku regulator telah menyelenggarakan kegiatan pelabuhan melalui Kantor Otoritas Pelabuhan dibawah naungan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. Untuk menghindari fungsi yang tumpang tindih, maka disusun pembagian tugas dimana Kantor Otoritas Pelabuhan (KSOP) berfungsi sebagai regulator, dan penunjukan BUMN sebagai operator yaitu PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) atau yang disebut dengan Pelindo III. Pelindo III sebagai operator pelabuhan memiliki tugas pokok dan fungsi sebagai operator kegiatan bongkar muat barang. Kegiatan bongkar muat barang, tidak hanya membutuhkan alat angkut saja, namun juga membutuhkan lahan untuk menumpuk dan menyimpan barang. Kebutuhan tersebut dipenuhi dengan diserahkannya hak pengelolaan lahan area pelabuhan yang sebelumnya dikuasai oleh KSOP kepada Pelindo III sebagai operator. Dengan tujuan agar Pelindo III bisa lebih fokus mengelola aspek bisnis dan KSOP membuat peraturan demi menunjang keselamatan dan kelancaran arus pelayaran dan lalu lintas barang dan penumpang.

Lahan sebagai modal utama dalam bisnis penyelenggaraan pelabuhan seringkali menjadi kendala dalam kelancaran operasional. Selain menjalankan bisnis utama sebagai operator pelabuhan, Pelindo III juga mendapatkan

[illegible]

Pada gambar 1.1 terlihat bahwa ada beberapa area yang kosong (area yang diberi arsiran) dikarenakan tidak ada pengguna lahan yang menyewa. Mayoritas dari lahan kosong tersebut dikarenakan kebutuhan penyewa lahan yang tidak sesuai dengan zonasi lahan yang ditawarkan. dapat disimpulkan bahwa banyak tanah yang idle karena tidak sesuai dengan zonasi, Lahan yang kosong akan menimbulkan beberapa permasalahan, selain tidak ada pemasukan dari sewa lahan, Pelindo III sebagai pengelola lahan juga tetap harus melakukan perawatan tanah dan bangunan yang berdiri di atas lahan tersebut.

Perencanaan tata guna lahan pelabuhan sangat dipengaruhi oleh data kinerja pelabuhan. Data dari perkembangan arus kapal menjadi tolak ukur seberapa besar permintaan suatu zonasi untuk menunjang kegiatan bongkar muat barang.



Gambar 1.2 Data histori kegiatan bongkar muat barang dan penumpang pelabuhan

Dari gambar 1.2 dapat dilihat bahwa ada beberapa kegiatan yang mengalami kenaikan dan ada beberapa kegiatan yang mengalami penurunan. Contohnya dari tahun ke tahun dapat dilihat bahwa arus penumpang semakin mengalami penurunan, dari tahun 2011 sebesar 980.853 orang/bulan menjadi hanya sekitar 656.000 orang/bulan pada tahun 2015, atau dengan rata-rata penurunan sekitar 25% per tahunnya. Sehingga kebutuhan lahan untuk area terminal penumpang dan sarana penunjangnya bisa dikurangi untuk dialokasikan ke zonasi lainnya. Data tersebut akan berguna untuk menentukan batas minimal dan maksimal lahan untuk penunjang masing-masing kegiatan tersebut.

Selain mendapatkan manfaat internal bagi perusahaan, juga akan menambah nilai Pelabuhan Tanjung Perak di dunia Internasional. Pengelolaan lahan yang baik dan efisien akan meminimalisasi kebutuhan untuk reklamasi lahan dan membantu kelancaran arus bongkar muat barang. Dalam hal ini

Sucofindo, selaku BUMN yang ditunjuk pemerintah sebagai lembaga sertifikasi Eco Green Port menjelaskan bahwa kelancaran arus bongkar muat barang dan perencanaan reklamasi menjadi perhatian untuk mendapatkan label Eco Green Port. Pernyataan tersebut merujuk pada PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure) Report 150-2014, Sustainable Ports, dan A Guide for Port Authorities. Selain itu terdapat beberapa pedoman kunci untuk pengelola pelabuhan sebagai syarat untuk mendapatkan sertifikasi Green Port. Pedoman ini memiliki beberapa kriteria sebagai bahan penilaian green port. Kriteria tersebut bisa diterapkan dalam tahap perancangan, pembangunan, atau implementasi dalam proses operasional yang sudah berjalan.

Pelindo III sebagai sebuah unit usaha pelabuhan, saat ini mulai memperhatikan lahan sebagai sebuah bisnis penunjang kegiatan pelabuhan utama. Dengan kondisi saat ini dimana perencanaan zonasi belum optimal karena ada beberapa lahan yang zonasinya terlalu besar dan terlalu kecil. Sehingga tidak sesuai dengan kebutuhan lahan sebagai penunjang arus bongkar muat pelabuhan. Dengan optimasi untuk perancangan zonasi, maka diharapkan kriteria penggunaan lahan yang optimal bisa terpenuhi, antara lain dengan meningkatnya pendapatan dari sewa lahan. Selain itu, dengan diterapkannya batasan untuk kebutuhan zonasi utama maka akan mereduksi peluang timbulnya lahan kosong atau idle.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan banyaknya parameter yang harus dipenuhi dalam merancang tata letak area pelabuhan, maka seringkali ada beberapa fungsi yang tidak terpenuhi. Seperti yang sudah diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 69 tahun 2001 tentang kepelabuhanan yang mengatur bahwa pelabuhan sebagai tempat berlabuhnya kapal, dan bongkar muat barang, tidak hanya menyediakan dermaga dan peralatan bongkar muat, namun juga harus meliputi sarana penunjang kegiatan distribusi, konsolidasi, dan produksi, termasuk sarana untuk menunjang kegiatan ekonomi kawasan. Sementara itu, perusahaan hingga saat ini hanya fokus terhadap perbaikan kinerja bongkar muat barang di dermaga yang mengakibatkan *bottleneck* pada sistem. Sebagai contoh seringkali terjadi antrean

truk untuk bongkar muat curah kering karena kurangnya lahan untuk curah kering (silo dan gudang) sehingga truk harus menunggu kapal untuk sandar yang kadang menunggu berhari. Akibatnya, target yang dicapai perusahaan seringkali tidak terpenuhi dan penggunaan lahan yang tidak efektif dan efisien. Maka dari itu perlu dilakukan sebuah pemodelan matematis untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Model matematis nantinya akan memuat parameter dan variabel, dimana parameter adalah nilai yang tidak bisa diatur oleh pengambil keputusan, sedangkan variabel adalah nilai yang dapat dikendalikan oleh pengambil keputusan. Pemodelan tersebut diharapkan akan menjawab permasalahan bagaimana menentukan besaran pada masing-masing zonasi yang akan dialokasikan pada masing masing NJOP untuk memaksimalkan keuntungan yang akan dicapai, dengan memperhatikan kendala:

1. Keterbatasan lahan yang tersedia, untuk sediakan beberapa zonasi dengan peruntukan dan nilai sewa lahan di tiap lokasi yang berbeda.
2. Beberapa lahan membutuhkan kriteria khusus, seperti jarak dari dermaga dan batasan luas lahan minimal yang harus disediakan

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan jumlah prosentase jumlah alokasi untuk tiap zonasi dengan tujuan memaksimalkan pendapatan dari sewa lahan.
2. Melakukan analisa kebutuhan terhadap masing-masing zonasi untuk menunjang operasional kegiatan pelabuhan.

1.4 Asumsi Penelitian

1. Membahas masalah tata guna lahan di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya
2. Tidak ada perubahan kebijakan dari Pemerintah yang akan berpengaruh terhadap regulasi tentang kepelabuhanan
3. Tidak ada kejadian diluar perkiraan yang menyebabkan permintaan terhadap suatu zonasi berubah dengan drastis atau hilangnya permintaan akan suatu zonasi. Contohnya krisis ekonomi atau bencana alam.

4. Bentuk lahan tidak mempengaruhi keputusan penyewa lahan dan penempatan infrastruktur di atas lahan.
5. Optimasi dilakukan dengan metode Linear Programming
6. Perencanaan yang dilakukan hanya mencakup ruang daratan
7. Perencanaan hanya pada area di belakang dermaga (Lini II)

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dari hasil rancangan tata letak yang didapatkan, maka secara operasional akan lebih efisien karena dapat mengakomodasi kebutuhan pengguna lahan dan meningkatkan pendapatan dari sewa lahan.
2. Tata letak yang baru juga akan meningkatkan posisi Pelabuhan Tanjung Perak di peta persaingan pelabuhan internasional dengan sistem yang tertata dan berkelanjutan, dengan menunjang prinsip-prinsip Eco green port.

1.5 Batasan Masalah

1. Luas tanah yang dirancang tata guna lahannya sesuai dengan Hak Pengelolaan Lahan (HPL) Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya
2. Jumlah cluster yang diakomodasi sesuai dengan zonasi standar Rencana Induk Pelabuhan yang diterbitkan oleh Otoritas Pelabuhan
3. Perhitungan tarif berdasarkan sewa tanah murni, untuk konsolidasi dan skema kerjasama lainnya tidak dihitung karena besarnya berbeda sesuai dengan negosiasi

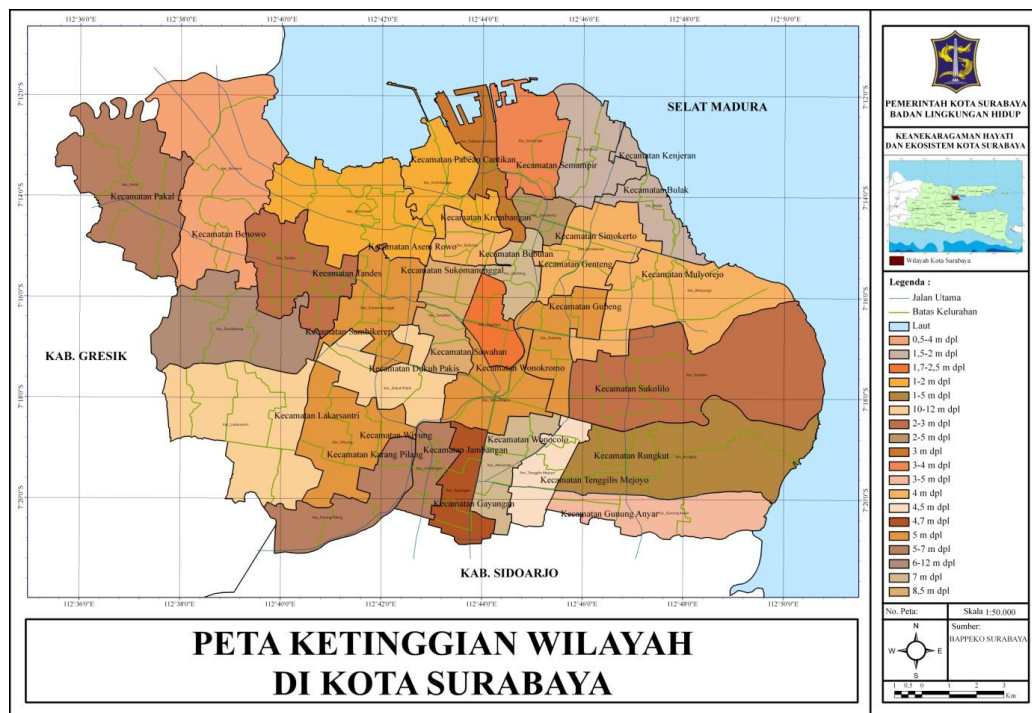
utama yang harus memiliki zonasi pokok dan zonasi penunjang yang kemudian disusun menjadi sebuah denah Rencana Induk Pelabuhan.

Tabel 2.1 Zonasi pada pelabuhan

No	Zonasi	Keterangan
1	Zona Dermaga	Tempat bongkar muat barang dari kapal ke darat
2	Zona Petikemas	Lapangan terbuka untuk menumpuk petikemas
3	Zona Curah Kering	Lapangan/gudang/silo untuk menumpuk benda kering dalam bentuk curah
4	Zona Curah Cair	Lapangan/gudang/silo untuk menumpuk benda cair dalam bentuk curah
5	Zona General Cargo	Lapangan/gudang/silo untuk menumpuk benda beragam jenis dalam kemasan
6	Zona Terminal Penumpang	Gedung terminal keberangkatan/kedatangan penumpang
7	Zona Terminal Serbaguna	Gedung/lapangan multifungsi, digunakan untuk zona cadangan
8	Zona Perkantoran dan Bisnis	Perkantoran umum
9	Zona Bisnis dan Perdagangan	Area jual beli, perbelanjaan dan perdagangan
10	Zona Industri	Industri penunjang kegiatan maritim
11	Zona Emplasemen (Intermoda dengan KA)	Stasiun bongkar muat barang dari dermaga/penumpukan ke kereta api
12	Zona Rekreasi	Ruang publik untuk pariwisata
13	Zona Fasilitas Umum	Tempat ibadah, gedung pemerintahan, dll
14	Zona Lapangan Parkir	Area untuk parkir truk dan kendaraan logistik
15	Zona Hijau	Taman dan pepohonan
16	Zona Pendukung Industri	Pembangkit listrik, fasilitas air bersih, dll
17	Kawasan Militer	Area pangkalan militer angkatan laut
18	Dermaga Kapal Negara	Dermaga untuk kapal pelayaran rakyat
19	Zona Konsolidasi dan Distribusi Barang	Stripping/stuffing petikemas dan fasilitas penunjang intermoda

2.1.1 Studi Kasus Lahan di Pelabuhan Tanjung Perak

Secara geografis, Pelabuhan Tanjung Perak memiliki letak di utara kota Surabaya, di sebelah barat muara sungai kalimas, dengan struktur tanah aluvial. Pelabuhan Tanjung Perak memiliki keuntungan dari segi geografis karena terletak di kota Surabaya yang memiliki ketinggian rata-rata 2 meter diatas permukaan laut, sehingga tidak menimbulkan kendala baik untuk pembangunan infrastruktur pelabuhan maupun infrastruktur penunjang *hinterland*. Terlihat pada gambar 2.2, pelabuhan Tanjung Perak terletak di bagian utara yang hanya memiliki ketinggian 2-3 mdpl. Berbeda dengan pelabuhan Tanjung Emas dan Tanjung Priok yang pada beberapa bagiannya memiliki ketinggian dibawah permukaan laut, sehingga pada waktu pasang air laut, terdapat beberapa bagian yang terendam air, sehingga dibutuhkan pompa dan *retarding pond* untuk menanggulangi hal tersebut.



Gambar 2.2 Peta ketinggian wilayah di kota Surabaya

Pelabuhan Tanjung Perak sebagai pelabuhan kelas I di memiliki permasalahan penataan lahan yang cukup kompleks, dimana sebagai pelabuhan penopang logistik untuk daerah Indonesia Timur, Tanjung Perak membutuhkan semua zonasi untuk mengakomodasi kebutuhan para pemangku kepentingan. Saat

ini Tanjung Perak memiliki lahan yang sudah bersertifikat seluas 5.230.456 m² yang dibagi kedalam berbagai zonasi.

Hal paling utama untuk diperhitungkan adalah kebutuhan lahan dan perairan pelabuhan untuk pengembangan pelabuhan yang harus selalu mengantisipasi perkembangan permintaan pelayanan pelabuhan.

Untuk itu pertama kali diadakan perhitungan kebutuhan pengembangan terminal pelabuhan yang diklasifikasikan dalam terminal konvensional, terminal serbaguna, terminal petikemas, terminal curah kering, terminal curah non-BBM dan terminal curah BBM. Kebutuhan terminal dalam kurun waktu sampai tahun 2030, akan dilaksanakan secara bertahap berdasarkan proyeksi arus penumpang, barang, petikemas, hewan dan kunjungan kapal adalah sebagaimana tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Data arus barang dan penumpang pelabuhan Tanjung Perak

No	Uraian	Satuan	Proyeksi			
			2015	2020	2025	2030
A	Arus Barang	ton	62,101,309	80,623,677	105,769,221	139,917,147
1	General cargo	ton	7,817,448	8,711,782	9,756,024	10,925,436
2	Curah kering	ton	11,851,713	13,593,278	15,590,759	17,881,763
3	Curah cair	ton	2,160,334	2,453,773	2,858,431	3,329,822
	Subtotal 1 s/d 4	ton	26,727,398	31,009,936	36,183,382	42,319,409
B	Arus petikemas	Teus	3,537,391	4,961,374	6,958,584	9,759,774
C	Arus Hewan	Ekor	23,500	23,500	23,500	23,500
D	Arus penumpang	orang	1,133,478	1,219,875	1,312,858	1,412,928
E	Kunjungan kapal	GRT	89,302,915	113,036,333	144,879,254	187,700,282

Dari data arus barang dan penumpang tersebut kemudian akan diketahui kecenderungan kenaikan arus kegiatan di pelabuhan. Kecenderungan tersebut digunakan untuk mengetahui proyeksi lahan yang dibutuhkan untuk menunjang masing masing kegiatan. Arus barang maupun penumpang di dermaga akan berdampak pada kebutuhan lahan, dimana semakin besar arus kegiatan dermaga atau terminal, maka akan makin besar pula kebutuhan akan lahan penunjang.

Tabel 2.3 Kebutuhan lahan terminal berdasarkan jenis kegiatan bongkar muat

No.	Fungsi Lahan	Kebutuhan per tahun (m ²)				
		2012	2013	2014	2015	2016
1	Terminal Konvensional	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
	Backup Area	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000
2	Terminal Petikemas	1,750	1950	2250	2250	2400
	Backup Area	1,450,000	1,450,000	1,450,000	1,450,000	1,450,000
3	Terminal Curah Kering	600	750	750	750	800
	Backup Area	60,000	67,300	105,300	162,000	256,000
4	Terminal Curah Cair	220	220	330	330	330
	Backup Area	3,300	6,300	6,300	8,000	8,000
5	Terminal Penumpang	330	330	330	330	330
	Backup Area	6,700	6,700	6,700	6,700	6,700

Tabel 2.2 menunjukkan kebutuhan lahan yang digunakan oleh masing masing kegiatan dari tahun 2012 hingga tahun 2016. Terlihat kebutuhan lahan mengalami kenaikan dan penurunan di beberapa fungsi lahan sesuai dengan arus barang dan penumpang di dermaga pelabuhan. Sehingga untuk memproyeksikan kebutuhan lahan untuk setiap kegiatan, luas lahan eksisting akan dikalikan dengan prosentase kecenderungan tren arus barang dan penumpang, kemudian akan didapatkan luasan sebagai batas maksimum dari lahan untuk tiap fungsi. Untuk batas minimum lahan yang disediakan, akan mengacu pada kebutuhan lahan di tahun terbaru (tahun 2016).

2.1.2 Perhitungan tarif sewa lahan

Pelindo 3 menerapkan sistem pemberlakuan tarif yang berbeda antara satu lahan dengan yang lain. Tarif yang dikenakan mengacu pada peraturan Direksi terkait tata cara penggunaan lahan dan bangunan, dimana tarif dibedakan menurut fungsi dari penggunaan lahan yang akan disewa. Untuk perhitungan tarif yang dikenakan menggunakan perhitungan :

$$\text{Luas tanah (m}^2\text{)} \times \text{Prosentase tarif sesuai perdir} \times \text{NJOP (Nilai Jual Objek Pajak)}$$

Besaran prosentase sendiri berubah-ubah sesuai dengan kebijakan Direksi, namun perubahan dilakukan dalam waktu yang paling singkat 5 tahun, untuk

mengakomodasi pihak penyewa yang jangka waktunya paling lama 5 (lima) tahun. Prosentase di pelabuhan tanjung perak dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Prosentase tarif sewa lahan di Pelabuhan Tanjung Perak

Jasa Kepelabuhanan		5.00%
Industri		5.00%
Konsolidasi		5.00%
Pariwisata/ Marina		5.00%
Industri Perkapalan		3.50%
Perkantoran/ Bisnis		5.00%
Lainnya		0.50%
Instansi Pemerintah		0.50%
Non Usaha Lainnya	<100 m ²	0.50%
	100 m ² s/d 200 m ²	0.50%
	>200 m ²	1.00%
Sosial		0.15%

Sedangkan untuk NJOP mengikuti NJOP yang besarnya ditentukan oleh Pemerintah Kota dan besarnya berbeda sesuai dengan lokasi. Untuk kenaikannya disesuaikan setiap satu tahun.

Yang menjadi batasan dalam penyusunan rumusan tarif adalah dimana pada suatu lokasi jalan, terdapat area yang terbatas, seperti pada tabel 2.4, sehingga pada beberapa lokasi dengan NJOP tertinggi memiliki luas yang terbatas. Maka dari itu perlu dilakukan penghitungan luasan untuk masing masing luasan yang akan dijadikan batasan dalam menentukan jumlah luas zonasi yang bisa dialokasikan untuk lokasi NJOP tersebut.

Tabel 2.5 Batasan luasan lahan di tiap jalan

Kelurahan Perak Utara			
Lokasi	Luasan maksimal (m2)	Lokasi	Luasan maksimal (m2)
Jl. Perak Barat	287441	Jl. Teluk Kumai Timur Sisingamangaraja	66768
Jl. Perak Timur	100961	Jl. XII/Jakarta	15663
Jl. Jamrud Utara	76443	Jl. Teluk Nibung	69523
Jl. Jamrud Selatan	34600	Jl. Teluk Pang-pang	2042
Jl. Kalianget	31359	Jl. Teluk Buli	7463
Jl. Berlian	127080	Jl. Teluk Betung	3854
Jl. Nilam Utara	165390	Jl. Teluk Weda	7486
Jl. Nilam Timur	269078	Jl. Teluk Aru	25912
Jl. Nilam Barat	275593	Jl. Teluk Bone	18396
Laksda M Natsir/Tanjung Priok	503453	Jl. Teluk Sarera	6045
Jl. Kalimas Baru	246253	Jl. Teluk Amurang	12534
Jl. Kalimas Baru I	246253	Jl. Teluk Langsa	302
Jl. Prapat Kurung Selatan	74934	Jl. Teluk Penanjung	1482
Jl. Prapat Kurung Utara	60343	Jl. Teluk Sampit	3476
Jl. Prapat Kurung Pojok	2537	Jl. Teluk Bayur	25219
Jl. Prapat Kurung Tegal	2304	Jl. Teluk Tomini	5318
Jl. Teluk Kumai Barat	44532	Jl. Mirah	120681
Kelurahan Perak Barat			
Lokasi	Luasan maksimal (m2)	Lokasi	Luasan maksimal (m2)
Jl. Tanjung Sadari	63357	Jl. Tanjung Batu	178026
Jl. Tanjung Sadari Kolombo	18959	Jl. Tanjung Tembaga	247582
Jl. Tanjung Layar	5850	Jl. Tanjung Mutiara	527
Jl. Tanjung Raja	1783	Jl. Tanjung Emas	831332
Jl. Tanjung Balai	8399	Jl. Tanjung Torawitan	12670
Jl. Tanjung Pinang	16112	Jl. Ikan Mungsing	5742
Jl. Tanjung Pura	8346	Jl. Ikan Lumba lumba	39355
Jl. Tanjung Karang	18633	Jl. Ikan Lumba lumba I	4149

2.2 Pemrograman Linier

Pemrograman linier merupakan salah satu teknik penelitian operasional yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimisasi suatu model linier dengan keterbatasan-keterbatasan sumber daya yang tersedia. Pemrograman linier

mengalami perkembangan pesat setelah masa perang dunia karena banyak industri yang menggunakannya. Selanjutnya berbagai alat dan metode dikembangkan untuk menyelesaikan masalah program linear bahkan sampai pada masalah penelitian operasional hingga tahun 1950-an seperti pemrograman dinamik, teori antrian, teori persandian, dan goal programming. Pemrograman linier merupakan dasar dari goal programming.

Pemrograman linier banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah optimisasi di dalam industri, perbankan, pendidikan dan masalah-masalah lain yang dapat dinyatakan dalam bentuk linear. Secara umum, fungsi pada pemrograman linier ada dua macam yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala. Fungsi tujuan digunakan untuk menentukan nilai optimum dari fungsi tersebut yaitu nilai maksimal untuk masalah keuntungan dan nilai minimal untuk masalah biaya. Fungsi kendala diperlukan berkenaan dengan adanya keterbatasan sumber daya yang tersedia. Tujuan utama dari linear programming adalah menentukan nilai optimum (maksimal/minimal) dari fungsi yang telah ditetapkan, untuk memecahkan permasalahannya yaitu dengan metode grafik, dan metode simpleks. Dalam program linier penyelesaian masalah dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan mengumpulkan data yang terkait
2. Merumuskan model matematis yang mewakili masalah
3. Mengembangkan suatu prosedur yang berbasis computer untuk memperoleh solusi dari model yang dibuat
4. Melakukan tes validasi terhadap model dan memperbaikinya bila diperlukan
5. Mengimplementasikan solusi yang didapat

Dalam linear programming, kata linear dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa seluruh fungsi matematis dalam model merupakan fungsi linear. Sedangkan *programming* disini berarti masalahnya dapat diselesaikan melalui suatu algoritma yang akan berakhir dalam beberapa tahap tertentu (Walker, 1999).

Sehingga *linear programming* diartikan sebagai merencanakan tahapan-tahapan perhitungan untuk memperoleh hasil optimal dari suatu fungsi linear.

Suatu masalah dikatakan masalah program linier jika :

1. Terdapat tujuan yang dicapai, dan dalam model matematika fungsi tujuan ini dalam bentuk linier.
2. Terdapat sumber daya atau masukan (input) yang berada dalam keadaan terbatas, dapat dirumuskan dalam hubungan yang linear yaitu pertidaksamaan linear.
3. Pola umum masalah yang dapat dimodelkan dengan program linier harus memenuhi:
 - a. Adanya pilihan kombinasi beberapa faktor kegiatan
 - b. Adanya sumber penunjang beserta batasnya
 - c. Adanya fungsi obyektif/sasaran/tujuan yang harus dioptimumkan,
 - d. Bahwa relasi yang timbul antara faktor-faktor semuanya linier.

Model umum dari linear programming adalah:

Optimasi (Maksimum atau Minimum)

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (2.1)$$

Dengan Kendala:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \quad (2.2)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \quad (2.3)$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \quad (2.4)$$

$$X_1 \geq 0 ; X_2 \geq 0 ; \dots ; X_n \geq 0 \quad (2.5)$$

$$m=1,2,3,\dots,m, n=1,2,3,\dots,n$$

Bentuk diatas bisa juga ditulis:

$$Z = \sum_{n=1}^n C_n X_n = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots + C_n X_n \quad (2.6)$$

$$m = 1, 2, 3 \dots m, \quad n = 1, 2, 3 \dots n$$

Dimana

Z : nilai total dari kinerja yang terpakai

X_n : Peubah pengambilan keputusan atau kegiatan

C_n : Parameter yang dijadikan kriteria optimasi

b_i : Jumlah sumberdaya i yang tersedia untuk dialokasikan

a_{mn} : jumlah sumberdaya m yang dikonsumsi tiap unit aktivitas n

Simbol x_1, x_2, \dots, x_n menunjukkan variabel keputusan harus konsisten. Jumlah variabel keputusan oleh karenanya tergantung dari jumlah kegiatan atau aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan. Simbol c_1, c_2, \dots, c_n merupakan kontribusi masing-masing variabel keputusan terhadap tujuan dan disebut juga sebagai koefisien fungsi tujuan pada model matematikanya. Simbol a_{11}, \dots, a_{mn} merupakan penggunaan per unit variabel keputusan akan sumber daya yang membatasi, atau disebut juga sebagai koefisien fungsi kendala pada model matematikanya. Simbol b_1, b_2, \dots, b_m menunjukkan jumlah masing-masing sumber daya yang ada. Jumlah fungsi kendala akan tergantung dari banyaknya sumber daya yang terbatas.

2.3 Hasil Penelitian Terdahulu

Sebelumnya terdapat beberapa penelitian yang menggunakan metode linear programming untuk optimasi lahan. Terdapat beberapa perbedaan dan persamaan dari penelitian terdahulu yang diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 2.6 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

No.	Penulis	Tahun	Judul	Kesimpulan	Persamaan	Perbedaan
1	Reizano Amri Rasyid	2014	Optimasi Penentuan Jumlah Gudang Berdasarkan Tipe dan Jenis Untuk Memaksimalkan Keuntungan Pada Proyek Pembangunan Gudang	Menurut hasil analisis didapatkan lahan maksimal dan prosentase keuntungan maksimal	Optimasi terhadap keuntungan sewa lahan	Terdapat batasan lahan dan batasan profit
2	Oliver Gyles & Olive Montecillo	1999	Linear Programming and Future Landuse Scenarios: An Irrigated Catchment Case Studies	Menurut hasil analisa didapatkan besaran masing-masing lahan tanam yang maksimal untuk kondisi irigasi yang berbeda	Hasil penelitian menunjukkan besaran alokasi lahan untuk tiap zonasi	Objek untuk maksimasi adalah alokasi lahan untuk irigasi yang optimal, bukan untuk maksimasi pendapatan
3	Agus Suhardono	2012	Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian Dengan Program Linier	Menurut hasil analisa didapatkan luas lahan optimum untuk masing-masing lahan tanam untuk maksimasi pendapatan dari tahun ke tahun	Hasil penelitian menunjukkan besaran alokasi lahan untuk tiap zonasi	Objek yang diteliti adalah lahan pertanian dan alokasi lahan yang berbeda untuk pengembangan jangka pendek

Sedangkan untuk komparasi pada penelitian sejenis terdapat beberapa perbedaan pada substansi penelitian yang dijabarkan pada tabel berikut,

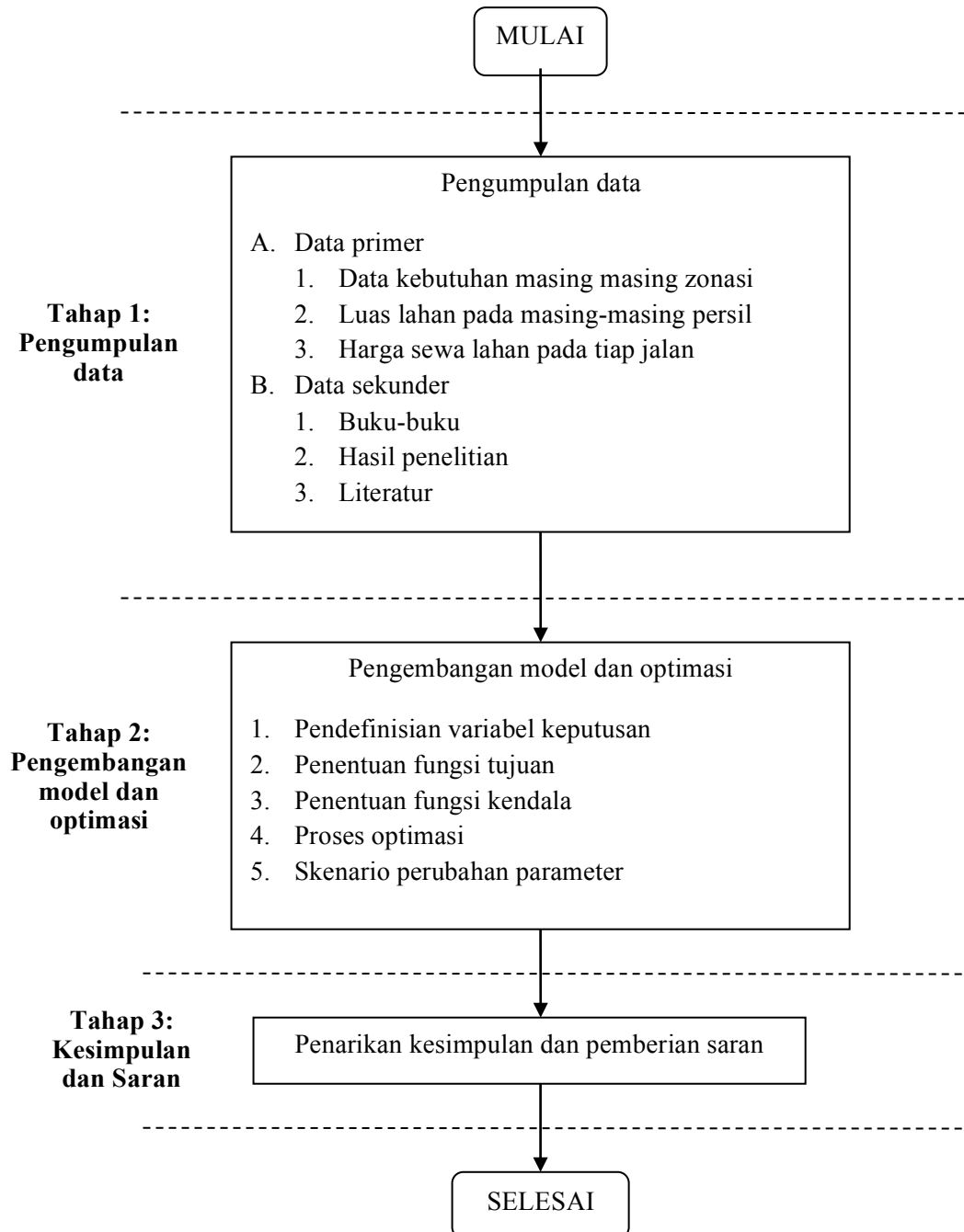
Tabel 2.7 Posisi penelitian

	Amri Rasyid (2014)	Gyles & Montecillo (1999)	Suhardono (2012)	Sofi et al (2015)	Penelitian ini (2017)
Objek penelitian					
Lahan Pertanian		✓	✓	✓	
Zonasi industri	✓				✓
Metode penyelesaian					
Linear programming	✓	✓	✓	✓	✓
Objective function					
Maximize profit	✓		✓	✓	✓
Maximize irrigation		✓	✓	✓	
Constraint					
Keterbatasan lahan	✓		✓		✓
Biaya pembangunan	✓			✓	
Jumlah alat & tenaga kerja		✓	✓	✓	
Area yang harus disediakan	✓				✓
Pasokan air		✓	✓		
Letak zonasi					✓
Karakteristik demand					
deterministik		✓	✓	✓	
stokastik	✓				✓

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan penelitian secara garis besar dapat dijelaskan dalam bagan sebagai berikut



3.1 Tahap tahap Penelitian

Pada tahap ini dilakukan penetapan tujuan penelitian, kemudian mempelajari konsep-konsep teori yang mendukung. Langkah-langkah berikutnya mengidentifikasi metode analisis dan prosedur pengolahan data yang sesuai. Dilanjutkan dengan memilih objek penelitian, kemudian mengidentifikasi variabel-variabel penelitian.

3.1.1 Studi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengamatan di area lahan milik Pelindo III yang bersertifikat HPL (Hak Pengelolaan Lahan). Selain itu juga dilakukan diskusi dan pengambilan data untuk menentukan zonasi apa saja yang dibutuhkan di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Berdasarkan studi lapangan disertai dengan studi pustaka, dilakukan penetapan perumusan masalah dan tujuan penelitian.

3.1.2 Tahap Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan adalah:

1. Data lahan yang tersedia, baik secara keseluruhan atau pada masing-masing jalan
2. Data lokasi dan kelayakan terhadap fungsi zonasi lahan
3. Data proyeksi kebutuhan lahan

3.1.3 Tahap Pengolahan Data, Pengembangan Model dan Optimasi

Ada dua kegiatan yang dilakukan pada tahap ini, yaitu langkah pengolahan data serta perencanaan model dan optimasi. Kegiatan pertama berhubungan dengan:

1. Perhitungan jumlah zonasi yang akan dialokasikan
2. Perhitungan keuntungan masing masing zonasi sesuai dengan NJOP
3. Perhitungan luas daerah pada masing masing jalan
4. Perhitungan proyeksi kebutuhan pada masing-masing zonasi

Sedangkan untuk kegiatan kedua berhubungan dengan

1. Pendefinisian variabel keputusan
2. Penentuan fungsi tujuan
3. Penentuan fungsi kendala
4. Proses optimasi dan kendalanya
5. Skenario perubahan parameter

3.1.4 Penarikan Kesimpulan dan Pemberian Saran

Pada tahap ini diberikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dicapai dan pemberian saran baik terhadap perusahaan maupun terhadap penelitian yang akan datang

3.2 Perencanaan Model Pengoptimalan Lahan

Model program linier digunakan dalam pemecahan masalah pengalokasian sumber-sumber yang terbatas secara optimum. Dalam persoalan ini sumber-sumber terbatas yang harus dialokasikan secara optimum adalah luas lahan yang akan dialokasikan untuk masing-masing zonasi. Pengalokasian lahan perlu memperhitungkan beberapa aspek, yaitu keuntungan di tiap jalan, batasan luas lahan, dan kebutuhan lahan untuk beberapa zonasi.

Dalam penelitian ini fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah memaksimalkan keuntungan dari zonasi yang akan dialokasikan terhadap rencana induk pelabuhan oleh Pelindo III. Persamaan dari fungsi tujuan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Maksimalkan } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} C_i D_j) \quad (3.1)$$

Dimana:

Z : Pendapatan yang akan dimaksimalkan

i : Tipe zonasi (1, ...,m)

j : lokasi jalan (1, ...,n)

X_{ij} : Variabel keputusan untuk luas zonasi i yang akan dialokasikan pada lokasi j

C_i : Tarif sewa lahan untuk tiap zonasi

D_j : NJOP untuk tiap lokasi jalan

Fungsi kendala adalah sebagai berikut

1. Kendala lahan keseluruhan

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq b \quad (3.2)$$

2. Kebutuhan jenis zonasi tertentu

$$a_i \leq \sum_{i=1}^m X_{ij} \leq e_i \quad (3.3)$$

3. Kendala lahan di tiap jalan

$$X_{ij} \leq e_j \quad (3.4)$$

$$X_1 \geq 0 ; X_2 \geq 0 ; \dots ; X_m \geq 0 \quad (3.5)$$

b : luas lahan keseluruhan

a_i : luas lahan minimum untuk zonasi i

e_i : luas lahan maksimum untuk zonasi i

e_j : luas lahan maksimum untuk kategori NJOP j

X_{ij} : Variabel keputusan untuk luas zonasi i yang akan dialokasikan pada NJOP j

3.3 Aplikasi Model

Model matematika program linier yang disusun ini dicoba penggunaannya untuk merencanakan desain rencana induk pelabuhan pada pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Agar permasalahan yang ada di lapangan dapat sesuai dengan model yang dikehendaki, maka ada beberapa kendala yang harus dipenuhi, kendala-kendala tersebut adalah:

1. Terdapat beberapa zonasi yang luasnya tidak boleh kurang dari kebutuhan lahan yang sudah diproyeksikan. Zonasi tersebut adalah zonasi dengan fungsi sebagai penunjang operasional pelabuhan, seperti Terminal konvensional, petikemas, curah cair, curah kering, dan penumpang.
2. Zonasi penunjang operasional harus berada di dekat dermaga agar memudahkan lalu lintas bongkar muat barang.

BAB IV

PENGUMPULAN DATA, PENGEMBANGAN MODEL, DAN OPTIMASI

4.1 Pengumpulan data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Data lahan yang tersedia, baik secara keseluruhan atau pada masing-masing jalan
2. Data lokasi dan kelayakan terhadap fungsi zonasi
3. Data proyeksi kebutuhan lahan

4.2 Data lahan di Pelabuhan Tanjung Perak

Pelindo III selaku pengelola pelabuhan memiliki tanah dengan status HPL dalam beberapa sertifikat. Dimana sertifikat tersebut adalah batasan dalam pengelolaan dan pengembangan area pelabuhan yang diatur oleh Pelindo III. Luasan tanah tersebut nantinya akan menjadi batasan dalam model matematis, dimana dengan lahan yang terbatas akan diatur beberapa zonasi dengan tujuan memaksimalkan pendapatan.

Tabel 4.1 Total luasan lahan Pelabuhan Tanjung Perak berdasarkan sertifikat

No.	Sertifikat HPL	Luas (m2)
1	No. 1/K GS 5726, 23 September 1988	1,857,445
2	No. 1/K GS 5727, 23 September 1988	3,245,645
3	No. 1/K GS 5727, 23 September 1988	37,550
4	No. 2 GS 5918, 26 Mei 1994	21,760
5	No. 3 GS 5919, 26 Mei 1994	14,000
TOTAL		5,176,400

Tabel 4.1 menunjukkan total luasan lahan yang dimiliki oleh Pelindo III untuk dikelola. Ada 2 sertifikat yang tidak tercantum dalam tabel dan tidak digunakan dalam penelitian ini, dikarenakan sertifikat tersebut letaknya terpisah dengan lahan utama, dimana lahan ada pada pulau Karang Jamuang yang tidak bisa disewakan kepada pihak ketiga.

Tabel 4.2 Batasan lahan maksimal di tiap jalan

Lokasi		Luasan maksimal (m2)	Lokasi		Luasan maksimal (m2)
Jl.	Perak Barat	287,441	Jl.	Teluk Kumai Timur Sisingamangaraja XII/Jakarta	66,768
Jl.	Perak Timur	100,961	Jl.	Teluk Nibung	15,663
Jl.	Jamrud Utara	76,443	Jl.	Teluk Pang-pang	69,523
Jl.	Jamrud Selatan	34,600	Jl.	Teluk Buli	2,042
Jl.	Kalianget	31,359	Jl.	Teluk Betung	7,463
Jl.	Berlian	127,080	Jl.	Teluk Weda	3,854
Jl.	Nilam Utara	165,390	Jl.	Teluk Aru	7,486
Jl.	Nilam Timur	269,078	Jl.	Teluk Bone	25,912
Jl.	Nilam Barat	275,593	Jl.	Teluk Sarera	18,396
Jl.	Laksda M Natsir/Tanjung Priok	503,453	Jl.	Teluk Amurang	6,045
Jl.	Kalimas Baru	246,253	Jl.	Teluk Langsa	12,534
Jl.	Kalimas Baru I	246,253	Jl.	Teluk Penanjung	302
Jl.	Prapat Kurung Selatan	74,934	Jl.	Teluk Sampit	1,482
Jl.	Prapat Kurung Utara	60,343	Jl.	Teluk Bayur	3,476
Jl.	Prapat Kurung Pojok	2,537	Jl.	Teluk Tomini	25,219
Jl.	Prapat Kurung Tegal	2,304	Jl.	Mirah	5,318
Jl.	Teluk Kumai Barat	44,532	Jl.	Tanjung Batu	120,681
Jl.	Tanjung Sadari	63,357	Jl.	Tanjung Tembaga	178,026
Jl.	Tanjung Sadari Kolombo	18,959	Jl.	Tanjung Mutiara	247,582
Jl.	Tanjung Layar	5,850	Jl.	Tanjung Emas	527
Jl.	Tanjung Raja	1,783	Jl.	Tanjung Torawitan	831,332
Jl.	Tanjung Balai	8,399	Jl.	Ikan Mungsing	12,670
Jl.	Tanjung Pinang	16,112	Jl.	Ikan Lumba lumba	5,742
Jl.	Tanjung Pura	8,346	Jl.	Ikan Lumba lumba I	39,355
Jl.	Tanjung Karang	18,633	Jl.		4,149
JUMLAH		2,689,993	JUMLAH		1,711,547
TOTAL				4,401,540	

4.3 Data lokasi dan kelayakan terhadap fungsi zonasi

Pelabuhan Tanjung perak memiliki karakteristik lahan yang membentuk tanjung yang menjorok ke bagian utara. Dimana lahan di bagian timur berbatasan dengan PT PAL dan pangkalan militer, bagian barat berbatasan dengan Komando Pembinaan Angkatan Laut, dan bagian selatan berbatasan dengan daerah kantor dan pemukiman. Berdasarkan data dari Pelindo III terdapat beberapa area yang cocok untuk dijadikan sebagai zonasi utama dari pelabuhan. Dimana lahan tersebut memiliki kriteria memiliki akses yang dekat ke dermaga dan dekat dengan akses keluar dari pelabuhan. Selain itu, lahan yang dijadikan zonasi utama akan menimbulkan beberapa polusi sehingga harus dijauhkan dari area pemukiman dan perkantoran.



Gambar 4.1 Area untuk zonasi utama pelabuhan

Gambar 4.1 menunjukkan area yang cocok untuk dijadikan zonasi utama pelabuhan. Dimana pada area yang diarsir adalah area yang secara eksisting dan kriteria memenuhi syarat sebagai zonasi utama. Area tersebut saat ini sdah ditempati oleh beberapa penyewa dengan kegiatan utama pelabuhan, seperti depo petikemas dan lapangan penumpukan. Sehingga dalam penerapan perubahan zonasi tidak akan menimbulkan perubahan yang terlalu ekstrim. Dari peta pada gambar 4.1 dapat dilihat data jalan yang sesuai untuk dijadikan sebagai zona utama pelabuhan.

Tabel 4.3 Kategori NJOP untuk zonasi utama pelabuhan

No.	Lokasi Jalan	Luas Area (m ²)	NJOP (Rp)
1	Jl. Jamrud Utara	76,443	3,100,000
2	Jl. Jamrud Selatan	34,600	3,100,000
3	Jl. Nilam Utara	165,390	3,100,000
4	Jl. Nilam Timur	269,078	3,100,000
5	Jl. Nilam Barat	275,593	3,100,000
6	Jl. Prapat Kurung Selatan	74,934	3,100,000
7	Jl. Prapat Kurung Utara	60,343	3,100,000
8	Jl. Berlian	127,080	3,100,000
9	Jl. Kalimas Baru	246,253	3,100,000
10	Jl. Tanjung Tembaga	247,582	3,100,000
11	Jl. Tanjung Mutiara	527	3,100,000
12	Jl. Tanjung Emas	831,332	3,100,000
	Subtotal 1-12	2,409,155	
13	Jl. Laksda M Natsir/Tanjung Priok	503,453	2,640,000
14	Jl. Tanjung Batu	178,026	2,640,000
	Subtotal 13-14	681,479	
15	Jl. Kalianget	31,359	2,352,000
16	Jl. Prapat Kurung Tegal	2,304	1,032,000
17	Jl. Kalimas Baru I	246,253	1,032,000
	Subtotal 16-17	248,557	
18	Jl. Prapat Kurung Pojok	2,537	916,000
	TOTAL 1-18	3,373,087	

Tabel 4.3 menunjukkan lokasi jalan yang sesuai dengan kriteria lahan yang dibutuhkan oleh zonasi utama pelabuhan. Dimana pada masing-masing jalan

tersebut juga memiliki luas area yang terbatas. Total lahan tersebut memiliki luas lahan sebesar 3.373.087 m², dimana luas tersebut masih mencukupi untuk kebutuhan lahan yang diproyeksikan seluas 3.191.005 m²

Tabel 4.4 Kategori NJOP untuk zonasi penunjang pelabuhan

No.	Lokasi Jalan	Luas Area (m ²)	NJOP (Rp)
1	Jl. Perak Barat	287,441	5,095,000
2	Jl. Perak Timur	100,961	5,095,000
3	Jl. Mirah	120,681	5,095,000
	Subtotal 16-17	509,083	
4	Jl. Tanjung Sadari	63,357	3,375,000
5	Jl. Sisingamangaraja XII/Jakarta	15,663	3,100,000
6	Jl. Teluk Kumai Barat	44,532	2,176,000
7	Jl. Teluk Kumai Timur	66,768	2,176,000
	Subtotal 16-17	111,300	
8	Jl. Teluk Nibung	69,523	1,722,000
9	Jl. Teluk Pang-pang	2,042	1,722,000
10	Jl. Teluk Buli	7,463	1,722,000
11	Jl. Teluk Betung	3,854	1,722,000
12	Jl. Teluk Weda	7,486	1,722,000
13	Jl. Teluk Aru	25,912	1,722,000
14	Jl. Teluk Bone	18,396	1,722,000
15	Jl. Teluk Sarera	6,045	1,722,000
16	Jl. Teluk Amurang	12,534	1,722,000
17	Jl. Teluk Langsa	302	1,722,000
18	Jl. Teluk Penanjung	1,482	1,722,000
19	Jl. Teluk Sampit	3,476	1,722,000
20	Jl. Teluk Bayur	25,219	1,722,000
21	Jl. Teluk Tomini	5,318	1,722,000
22	Jl. Tanjung Sadari Kolombo	18,959	1,722,000
23	Jl. Tanjung Layar	5,850	1,722,000
24	Jl. Tanjung Raja	1,783	1,722,000
25	Jl. Tanjung Balai	8,399	1,722,000
26	Jl. Tanjung Pinang	16,112	1,722,000
27	Jl. Tanjung Pura	8,346	1,722,000
28	Jl. Tanjung Karang	18,633	1,722,000
29	Jl. Tanjung Torawitan	12,670	1,722,000
30	Jl. Ikan Mungsing	5,742	1,722,000
31	Jl. Ikan Lumba lumba	39,355	1,722,000
32	Jl. Ikan Lumba lumba I	4,149	1,722,000
	Subtotal 16-17	329,050	
TOTAL 1-32		1,028,453	

Lahan untuk zonasi penunjang akan dialokasikan lahan di luar lahan untuk zonasi utama pelabuhan, dimana lahan tersebut memiliki luas sebesar 1028453 m². Lahan untuk zonasi penunjang ditempatkan di luar area yang berdekatan dengan dermaga karena tidak berhubungan langsung dengan kegiatan pelabuhan.

4.4 Proyeksi kebutuhan lahan

Setelah diketahui luasan maksimal lahan keseluruhan, perlu dilakukan penghitungan untuk menentukan batas lahan maksimal untuk tiap zonasi. Data lahan maksimal didapatkan dari prosentase proyeksi kenaikan kegiatan yang ada di dermaga. Setiap zonasi yang disediakan akan selalu mengikuti volume kegiatan dermaga, dimana apabila kegiatan dermaga meningkat, maka akan disertai peningkatan kebutuhan lahan penunjang masing-masing jenis kegiatan. Hal ini berlaku sebaliknya, apabila terjadi penurunan volume kegiatan, maka akan terjadi penurunan kebutuhan lahan untuk sebuah zonasi. Dari data pada tabel 4.3 terlihat tidak adanya penurunan pada kegiatan utama pelabuhan. Terjadi peningkatan kegiatan yang cukup signifikan untuk beberapa sector seperti pada arus petikemas yang mengalami peningkatan diatas 50%.

Tabel 4.5 Proyeksi kegiatan pelabuhan

No	Uraian	Satuan	Proyeksi (dalam ribuan)	
			2015	2030
A	Arus Barang	ton	62,101	139,917
1	Konvensional	ton	7,817	10,925
2	Curah kering	ton	11,851	17,881
3	Curah cair	ton	2,160	3,329
	Subtotal 1 s/d 4	ton	21,829	32,137
B	Arus petikemas	Teus	3,537	9,759
C	Arus Hewan	Ekor	23	23
D	Arus penumpang	orang	1,133	1,412
E	Kunjungan kapal	GRT	89,302	187,700

Setelah didapatkan nilai kecenderungan peningkatan kegiatan pelabuhan, dapat dihitung perkiraan lahan maksimum yang dibutuhkan untuk tiap zonasi. Dimana nilai kecenderungan akan dikombinasikan dengan data lahan eksisting yang digunakan untuk masing-masing zonasi.

Tabel 4.6 Proyeksi kebutuhan lahan pelabuhan

Fungsi lahan	Luas lahan saat ini	Prosentase kenaikan kegiatan	Pemekaran lahan	Proyeksi lahan yang dibutuhkan
	A	B	A x (B/100)	A+B
Terminal Konvensional	161,500	40	64,208	225,708
Terminal Petikemas	1,452,400	76	1,103,824	2,556,224
Terminal Curah Kering	256,800	51	130,658	387,458
Terminal Curah Cair	8,330	54	4,498	12,828
Terminal Penumpang	7,030	25	1,758	8,788
TOTAL				3,191,005

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kebutuhan lahan untuk zonasi utama pelabuhan. Dimana diproyeksikan hingga tahun 2030 total luas lahan yang dibutuhkan untuk zonasi utama adalah sebesar 3.191.005 m². Luas lahan tersebut akan dibagi untuk beberapa zonasi dengan fungsi dan luas yang berbeda.

Sedangkan untuk kebutuhan lahan penunjang diukur berdasarkan alokasi zonasi pada RIP dan kondisi lahan eksisting. Untuk lahan yang alokasi zonasinya tidak terpenuhi maka digunakan luas lahan yang tersewa untuk menentukan batas bawah pengurangan zonasi. Sedangkan untuk lahan yang mengalami peningkatan luas penyewaan dari zonasi yang disediakan, lahan yang tersewa akan menjadi batas minimal untuk alokasi zonasi yang akan direncanakan.

Tabel 4.7 Lahan yang ditempati dan alokasi menurut RIP

Zonasi	Luas lahan yang ditempati	alokasi lahan menurut RIP eksisting	Keterangan
Zona perkantoran dan bisnis	75,654	150,000	alokasi lahan terlalu banyak
Zona bisnis dan perdagangan	17,885	200,000	alokasi lahan terlalu banyak
Zona industri	178,000	150,000	alokasi lahan kurang
Zona fasilitas umum	80,000	100,000	alokasi lahan terlalu banyak
Zona lapangan parkir	137,890	120,000	alokasi lahan kurang
Zona konsolidasi dan distribusi barang	376,150	300,000	alokasi lahan kurang
TOTAL	865,579	1,020,000	

4.5 Formulasi Model

Dalam penelitian ini fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah memaksimalkan keuntungan dari tiap lokasi lahan yang disewakan untuk masing-masing zonasi. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan luas alokasi lahan yang optimal untuk masing-masing zonasi.

Model matematika untuk fungsi tujuan memaksimalkan pendapatan dibuat berdasarkan perhitungan untuk tarif sewa lahan yang dibedakan dari masing-masing zonasi, dan tarif peruntukan lahan.

4.5.1 Formulasi model untuk zonasi utama

a. Fungsi Tujuan

$$\text{Maksimalkan } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} C_i D_j) \quad (4.1)$$

Dimana:

Z : Pendapatan yang akan dimaksimalkan

i : Tipe zonasi (1, ...,m)

j : lokasi jalan (1, ...,n)

X_{ij} : Variabel keputusan untuk luas zonasi i yang akan dialokasikan pada lokasi j

C_i : Tarif sewa lahan untuk tiap zonasi

D_j : NJOP untuk tiap lokasi jalan

Tabel 4.8 Keterangan variabel

	3,100,000	2,640,000	2,352,000	1,032,000	916,000
Terminal Konvensional	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
Terminal Petikemas	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}
Terminal Curah Kering	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}
Terminal Curah Cair	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}
Terminal Penumpang	X_{51}	-	-	-	-

$$\begin{aligned}
 Z = & (X_{11} * 0,05 * 3100000) + (X_{12} * 0,05 * 2640000) + (X_{13} * 0,05 * 2352000) + \\
 & (X_{14} * 0,05 * 1032000) + (X_{15} * 0,05 * 916000) + (X_{21} * 0,05 * 3100000) + \\
 & (X_{22} * 0,05 * 2640000) + (X_{23} * 0,05 * 2352000) + (X_{24} * 0,05 * 1032000) + \\
 & (X_{25} * 0,05 * 916000) + (X_{31} * 0,05 * 3100000) + (X_{32} * 0,05 * 2640000) + \\
 & (X_{33} * 0,05 * 2352000) + (X_{34} * 0,05 * 1032000) + (X_{35} * 0,05 * 916000) + \\
 & (X_{41} * 0,05 * 3100000) + (X_{42} * 0,05 * 2640000) + (X_{43} * 0,05 * 2352000) + \\
 & (X_{44} * 0,05 * 1032000) + (X_{45} * 0,05 * 916000) + (X_{51} * 0,05 * 3100000)
 \end{aligned}$$

b. Kendala keterbatasan lahan untuk zonasi utama

Masing masing lokasi memiliki luas lahan yang terbatas, sehingga total luasan lahan di tiap NJOP menjadi fungsi kendala untuk tiap zonasi yang akan dialokasikan di sebuah kategori NJOP.

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} \leq 2409155$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} \leq 681479$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} \leq 31359$$

$$X_{14}+X_{24}+X_{34}+X_{44} \leq 248557$$

$$X_{15}+X_{25}+X_{35}+X_{45} \leq 2537$$

c. Kendala permintaan lahan untuk zonasi utama

Untuk zonasi utama, yang menjadi pembatas agar sebuah zonasi tidak mendominasi seluruh lahan, maka dibuat sebuah pembatas maksimum dan minimum. Nilai maksimum berdasarkan proyeksi kebutuhan lahan untuk 20 tahun, sedangkan nilai minimum adalah luas zonasi yang ditempati saat ini.

$$161500 \geq X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15} \geq 225708$$

$$1452400 \geq X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25} \geq 2556224$$

$$256800 \geq X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35} \geq 387458$$

$$8330 \geq X_{41}+X_{42}+X_{43}+X_{44}+X_{45} \geq 12828$$

$$7030 \geq X_{51} \geq 8788$$

4.5.2 Formulasi model untuk zonasi penunjang

a. Fungsi Tujuan

$$\text{Maksimalkan } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} C_i D_j) \quad (4.2)$$

Dimana:

Z : Pendapatan yang akan dimaksimalkan

i : Tipe zonasi (1, ...,m)

j : lokasi jalan (1, ...,n)

X_{ij} : Variabel keputusan untuk luas zonasi i yang akan dialokasikan pada lokasi j

C_i : Tarif sewa lahan untuk tiap zonasi

D_j : NJOP untuk tiap lokasi jalan

Tabel 4.9 Keterangan variabel

	5,095,000	3,375,000	3,100,000	2,176,000	1,722,000
Zona perkantoran dan bisnis	X_{66}	X_{67}	X_{68}	X_{69}	X_{610}
Zona bisnis dan perdagangan	X_{76}	X_{77}	X_{78}	X_{79}	X_{710}
Zona industri	X_{86}	X_{87}	X_{88}	X_{89}	X_{810}
Zona fasilitas umum	X_{96}	X_{97}	X_{98}	X_{99}	X_{910}
Zona lapangan parkir	X_{106}	X_{107}	X_{108}	X_{109}	X_{1010}
Zona konsolidasi dan distribusi barang	X_{116}	X_{117}	X_{118}	X_{119}	X_{1110}

$$\begin{aligned}
 Z = & (X_{66} * 0,05 * 3100000) + (X_{67} * 0,05 * 916000) + (X_{68} * 0,05 * 1032000) + \\
 & (X_{69} * 0,05 * 2352000) + (X_{610} * 0,05 * 2640000) + (X_{76} * 0,05 * 916000) + \\
 & (X_{77} * 0,05 * 1032000) + (X_{78} * 0,05 * 2352000) + (X_{79} * 0,05 * 2640000) + \\
 & (X_{710} * 0,05 * 3100000) + (X_{86} * 0,05 * 1032000) + (X_{87} * 0,05 * 2352000) + \\
 & (X_{88} * 0,05 * 2640000) + (X_{89} * 0,05 * 3100000) + (X_{810} * 0,05 * 916000) + \\
 & (X_{96} * 0,05 * 2352000) + (X_{97} * 0,05 * 2640000) + (X_{98} * 0,05 * 3100000) + \\
 & (X_{99} * 0,05 * 916000) + (X_{910} * 0,05 * 1032000) + (X_{106} * 0,05 * 2352000) + \\
 & (X_{107} * 0,05 * 2640000) + (X_{108} * 0,05 * 3100000) + (X_{109} * 0,05 * 916000) + \\
 & (X_{1010} * 0,05 * 1032000) + (X_{116} * 0,05 * 2352000) + (X_{117} * 0,05 * 2640000) + \\
 & (X_{118} * 0,05 * 3100000) + (X_{119} * 0,05 * 916000) + (X_{1110} * 0,05 * 1032000)
 \end{aligned}$$

b. Kendala keterbatasan lahan untuk zonasi penunjang

Masing masing lokasi memiliki luas lahan yang terbatas, sehingga total luasan lahan di tiap NJOP menjadi fungsi kendala untuk tiap zonasi yang akan dialokasikan di sebuah kategori NJOP.

$$X_{66} + X_{76} + X_{86} + X_{96} + X_{106} + X_{116} \leq 509083$$

$$X_{67} + X_{77} + X_{87} + X_{97} + X_{107} + X_{117} \leq 63357$$

$$X_{68} + X_{78} + X_{88} + X_{98} + X_{108} + X_{118} \leq 15663$$

$$X_{69} + X_{79} + X_{89} + X_{99} + X_{109} + X_{119} \leq 111300$$

$$X_{610} + X_{710} + X_{810} + X_{910} + X_{1010} + X_{1110} \leq 329050$$

c. Kendala permintaan lahan untuk zonasi penunjang

Batasan alokasi lahan untuk zonasi penunjang mengacu pada perbandingan luas lahan yang sudah terisi saat ini dengan alokasi lahan yang ditentukan pada RIP pelabuhan. Apabila lahan yang terisi kurang dari alokasi, maka batas maksimal lahan tersebut adalah luas lahan yang sudah terisi saat ini. Lahan yang tidak ditambah alokasinya dari RIP saat ini adalah zona Perkantoran, zona bisnis dan perdagangan, dan zona fasilitas umum.

$$150000 \geq X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} \geq 75654$$

$$200000 \geq X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{710} \geq 17885$$

$$100000 \geq X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{910} \geq 80000$$

Sedangkan zonasi yang perlu untuk ditambah alokasi zonasinya adalah zona industri, zona lapangan parker, dan zona konsolidasi & distribusi barang

$$1028453 \geq X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} + X_{810} \geq 178000$$

$$1028453 \geq X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} + X_{1010} \geq 137890$$

$$1028453 \geq X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{1110} \geq 376150$$

4.6 Analisis Hasil Pemodelan

Dari hasil pemodelan yang dijalankan menggunakan Solver Excel, maka didapatkan hasil optimasi lahan terhadap keuntungan penyewaan lahan di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Optimasi dilakukan dengan menggunakan alokasi lahan untuk tiap zonasi pada NJOP yang berbeda sebagai variabel.

Hasil optimasi pada tabel 4.10 dan 4.11 menunjukkan besaran luas lahan untuk di alokasikan pada masing masing NJOP untuk memaksimalkan keuntungan dan mengakomodasi perubahan kebutuhan akan tiap zonasi. Hasil optimasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa perubahan penempatan dan alokasi zonasi dari RIP saat ini untuk memaksimalkan keuntungan dari sewa lahan. Hasil optimasi juga menunjukkan bahwa seluruh kebutuhan lahan berdasarkan proyeksi kegiatan pelabuhan terpenuhi. Dengan optimasi, maka diharapkan kebutuhan lahan yang selama ini kurang efektif dapat terpenuhi.

Tabel 4.10 Alokasi zonasi utama pada masing masing NJOP

	Luas lahan pada kategori NJOP (m2)					Total luas zonasi
	3,100,000	2,640,000	2,352,000	1,032,000	916,000	
Terminal Konvensional		125,337	31,359	69,012		225,708
Terminal Petikemas	2,000,082	556,142				2,556,224
Terminal Curah Kering	387,458					387,458
Terminal Curah Cair	12,828					12,828
Terminal Penumpang	8,788					8,788
JUMLAH	2409155	681479	31359	69012	0	3,191,005

Tabel 4.11 Alokasi zonasi penunjang pada masing masing NJOP

	Luas lahan pada kategori NJOP (m2)					Total luas zonasi
	5,095,000	3,375,000	3,100,000	2,176,000	1,722,000	
Zona perkantoran dan bisnis	33,416		15,663		26,575	75,654
Zona bisnis dan perdagangan					17,885	17,885
Zona industri				111,300	66,700	178,000
Zona fasilitas umum					80,000	80,000
Zona lapangan parkir					137,890	137,890
Zona konsolidasi dan distribusi barang	475,667	63,357				539,024
JUMLAH	509,083	63,357	15,663	111,300	329,050	1,028,453

Optimasi yang dilakukan dengan menggunakan proyeksi kebutuhan lahan sebagai batasan maksimal, maka akan timbul kosongnya sebuah kategori NJOP karena dianggap semua kebutuhan lahan sudah terpenuhi. Terdapat selisih dari alokasi keseluruhan lahan dari zonasi utama sebesar 3.373.087 m² dengan total alokasi hasil optimasi sebesar 3.191.005 m², dimana terdapat selisih sebesar 182.082 m². Apabila mengacu pada data arus kegiatan pelabuhan yang terkadang mengalami lonjakan permintaan, maka lahan tersebut bisa dialokasikan untuk backup area apabila zonasi yang sudah dialokasikan pada RIP tidak mencukupi untuk mengakomodasi lonjakan yang tidak dapat diprediksi.

Dari tabel 4.8 dan tabel 4.9 menunjukkan bahwa keuntungan maksimal yang didapat dari hasil optimasi zonasi adalah Rp 470.623.090.678 untuk zonasi utama dan Rp. 167.742.101.900 untuk zonasi penunjang. Dengan total keuntungan dari sewa lahan sebesar Rp. 638,365,192,578. Apabila dibandingkan dengan realisasi pendapatan sewa tanah tahun 2015, maka terjadi peningkatan pendapatan dari realisasi tahun 2015 sebesar Rp. 145.630.815.000.

Tabel 4.12 Pendapatan dari hasil optimasi

Zonasi	Pendapatan Sewa Lahan
Terminal Konvensional	23,793,276,915
Terminal Petikemas	383,423,446,200
Terminal Curah Kering	60,055,934,062
Terminal Curah Cair	1,988,371,000
Terminal Penumpang	1,362,062,500
SUBTOTAL 1	470,623,090,678
Zona perkantoran dan bisnis	13,228,598,500
Zona bisnis dan perdagangan	1,539,898,500
Zona industri	17,852,310,000
Zona fasilitas umum	2,066,400,000
Zona lapangan parkir	1,187,232,900
Zona konsolidasi dan distribusi barang	131,867,662,000
SUBTOTAL 2	167,742,101,900
TOTAL	638,365,192,578

4.6.1 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengetahui perubahan variabel keputusan yang akan berpengaruh pada solusi optimal dari pemodelan linier. Analisa sensitivitas dilakukan menggunakan fitur sensitivity report dari solver excel.

Pada analisa variabel yang ditunjukkan pada tabel 4.13 menunjukkan bahwa ada beberapa informasi yang dapat digunakan. Kolom reduced cost menunjukkan kemungkinan kenaikan tarif di beberapa lokasi yang menyebabkan disertakannya variabel keputusan yang tidak terisi dalam optimasi yang sudah dilakukan. Lokasi yang memungkinkan untuk dikenakan kenaikan adalah pada lokasi NJOP kategori 1 dengan tarif 5%, dimana apabila koefisien sewa lahan dinaikkan 2 kali lipat, maka terminal konvensional memungkinkan untuk mengisi lahan kategori 1. Selain itu menurut tabel 4.13, tarif yang juga memungkinkan

untuk dikenakan kenaikan adalah pada kategori NJOP 5, dengan koefisien tarif sebesar 5800, dimana apabila dinaikkan menjadi 2 kali lipat, maka lahan untuk kategori tersebut akan diberikan alokasi untuk zonasi.

Tabel 4.13 Analisa sensitivitas variabel

Variable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
\$B\$4	Luas lahan (m2)	0	-155000	155000	155000	1E+30
\$B\$5	Luas lahan (m2)	125337	0	132000	0	80400
\$B\$6	Luas lahan (m2)	31359	0	117600	1E+30	0
\$B\$7	Luas lahan (m2)	69012	0	51600	66000	0
\$B\$8	Luas lahan (m2)	0	-5800	45800	5800	1E+30
\$F\$4	Luas lahan (m2)	2000082	0	155000	0	103400
\$F\$5	Luas lahan (m2)	556142	0	132000	103400	0
\$F\$6	Luas lahan (m2)	0	0	117600	0	1E+30
\$F\$7	Luas lahan (m2)	0	0	51600	0	1E+30
\$F\$8	Luas lahan (m2)	0	-5800	45800	5800	1E+30
\$J\$4	Luas lahan (m2)	387458	0	155000	1E+30	0
\$J\$5	Luas lahan (m2)	0	0	132000	0	1E+30
\$J\$6	Luas lahan (m2)	0	0	117600	0	1E+30
\$J\$7	Luas lahan (m2)	0	0	51600	0	1E+30
\$J\$8	Luas lahan (m2)	0	-5800	45800	5800	1E+30
\$N\$4	Luas lahan (m2)	12828	0	155000	1E+30	0
\$N\$5	Luas lahan (m2)	0	0	132000	0	1E+30
\$N\$6	Luas lahan (m2)	0	0	117600	0	1E+30
\$N\$7	Luas lahan (m2)	0	0	51600	0	1E+30
\$N\$8	Luas lahan (m2)	0	-5800	45800	5800	1E+30
\$R\$4	Luas lahan (m2)	8788	0	155000	1E+30	51600

Selain analisa pada variabel, sensitivity report pada excel juga melakukan analisa terhadap batasan kendala pemodelan. Hasil analisa untuk kendala ditunjukkan pada tabel 4.14. Tabel tersebut menunjukkan bahwa apabila batasan lahan di tiap zonasi bertambah sebesar 1 m², maka pendapatan akan bertambah sebesar Rp 51600,- , seperti ditunjukkan pada tabel 4.14. Sedangkan kolom allowable increase dan allowable decrease menunjukkan seberapa besar batasan

lahan bisa ditambah atau dikurangi tanpa mengubah nilai solusi optimal. Namun pada kasus lahan pelabuhan, batasan lahan tidak memungkinkan untuk ditambah atau dikurangi karena aset lahan pelabuhan dibatasi oleh peraturan hukum.

Tabel 4.14 Analisa sensitivitas kendala

Constraints

		Final	Shadow	Constraint	Allowable	Allowable
Cell	Name	Value	Price	R.H. Side	Increase	Decrease
\$B\$9	Luas lahan (m2)	225708	51600	225708	179545	64208
\$B\$9	Luas lahan (m2)	225708	0	161500	64208	1E+30
\$F\$9	Luas lahan (m2)	2556224	51600	2556224	125337	69012
\$F\$9	Luas lahan (m2)	2556224	0	1452400	1103824	1E+30
\$J\$9	Luas lahan (m2)	387458	51600	387458	125337	69012
\$J\$9	Luas lahan (m2)	387458	0	256800	130658	1E+30
\$N\$9	Luas lahan (m2)	12828	51600	12828	125337	4498
\$N\$9	Luas lahan (m2)	12828	0	8330	4498	1E+30
\$R\$9	Luas lahan (m2)	8788	51600	8788	125337	1758
\$R\$9	Luas lahan (m2)	8788	0	7030	1758	1E+30
\$V\$4		2409155	103400	2409155	69012	125337
\$V\$5		681479	80400	681479	69012	125337
\$V\$6		31359	66000	31359	69012	31359
\$V\$7		69012	0	248557	1E+30	179545
\$V\$8		0	0	2537	1E+30	2537

4.6.2 Analisa perubahan kendala zonasi utama

Adanya selisih luasan lahan dari total alokasi lahan untuk zonasi utama menyebabkan adanya lahan yang tidak ada zonasinya. Walaupun sebenarnya lahan tersebut bisa digunakan sebagai backup area. Akan dilakukan sebuah simulasi untuk melihat apabila selisih luasan tersebut dimasukkan ke dalam batasan alokasi lahan. Hasil optimasi simulasi akan menunjukkan keseimbangan atau proporsi lahan setelah selisih lahan dimasukkan ke dalam kendala pemodelan.

Selisih lahan dimasukkan ke dalam fungsi kendala dengan menambahkan selisih luas sebesar 182082 m² ke kebutuhan lahan berdasarkan proyeksi kegiatan sebagaimana pada tabel 4.15. Dimana diharapkan akan ada tambahan luasan pada beberapa zonasi untuk mengisi selisih lahan tersebut.

Tabel 4.15 Tambahan selisih lahan sebagai batasan

Kebutuhan lahan berdasarkan proyeksi	Sisa lahan	Jumlah
A	B	A+B
225708	182082	407790
2556224		2738306
387458		569540
12828		194910
8788		190869

Dengan ditambahkan selisih lahan, maka fungsi kendala akan berubah. Akan terdapat penambahan luasan pada setiap batas atas dari masing masing alokasi zonasi. Dengan model matematis sebagai berikut:

$$161500 \geq X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} \geq 407790$$

$$1452400 \geq X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} \geq 2738306$$

$$256800 \geq X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} \geq 569540$$

$$8330 \geq X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{54} \geq 194910$$

$$7030 \geq X_{51} \geq 190869$$

Ditambahkan juga fungsi kendala agar total luas dari seluruh zonasi tidak melebihi total luas lahan yang dialokasikan

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{54} + X_{51} \leq 3373087$$

Dari hasil optimasi dengan menggunakan solver, didapatkan hasil sebagaimana pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Hasil optimasi setelah perubahan kendala

	Luas lahan pada kategori NJOP (m2)					Total luas zonasi
	3,100,000	2,640,000	2,352,000	1,032,000	916,000	
Terminal Konvensional		161,500				161,500
Terminal Petikemas	1,935,874	519,979	31,359	248,557	2,357	2,738,306
Terminal Curah Kering	457,921					457,921
Terminal Curah Cair	8330					8330
Terminal Penumpang	7030					7030
JUMLAH	2409155	681479	248,557	248,557	2537	3,191,005

Tabel 4.16 menunjukkan bahwa dari hasil optimasi, dapat dilihat bahwa terjadi ketidakseimbangan antara alokasi satu zonasi dengan zonasi yang lain. Dimana penambahan alokasi lahan hanya terjadi pada terminal petikemas dan terminal curah kering. Hal ini menyebabkan untuk zonasi lainnya hanya dialokasikan lahan sesuai dengan luas lahan yang terisi saat ini. Maka dikhawatirkan dengan skenario tersebut maka untuk lahan yang lain tidak dapat mengantisipasi kenaikan permintaan lahan di masa depan. Namun dengan skenario tersebut, pendapatan sewa lahan mengalami peningkatan menjadi Rp. 480,003,807,200.

4.6.3 Analisa perbandingan pendapatan aktual

Dengan tujuan validasi tujuan yang dicapai dari pemodelan, yaitu memaksimalkan keuntungan, maka dilakukan analisa perbandingan pendapatan dari hasil pemodelan dengan pendapatan dari kondisi tata guna lahan pelabuhan saat ini untuk mengetahui perbedaan antara keduanya. Namun dengan tujuan mendapatkan komparasi yang seimbang, maka digunakan asumsi bahwa semua lahan saat ini terisi penuh dan penempatan lahan sudah sesuai dengan zonasi yang ditetapkan. Selain itu digunakan asumsi pendapatan hanya dari sewa lahan, tidak termasuk pendapatan dari kerjasama pengelolaan lahan.

Dari tabel 4.17, dilakukan perhitungan dengan menjumlahkan pendapatan dari masing masing zonasi untuk tiap NJOP, untuk kemudian didapatkan pendapatan untuk tiap-tiap zonasi.

Tabel 4.17 Pendapatan dari zonasi aktual

No.	Zonasi	Luas lahan (m ²)	Pendapatan (Rp)
1	Terminal Konvensional	161,500	38,593,798,002
2	Terminal Petikemas	1,452,400	108,060,377,232
3	Terminal Curah Kering	256,800	39,999,143,093
4	Terminal Curah Cair	8,330	22,101,633,386
5	Terminal Penumpang	7,030	2,800,107,795
6	Zona perkantoran dan bisnis	75,654	21,749,914,805
7	Zona bisnis dan perdagangan	17,885	4,401,872,332
8	Zona industri	178,000	3,986,389,500
9	Zona fasilitas umum	80,000	510,501,824
10	Zona lapangan parkir	137,890	24,490,775,720
11	Zona konsolidasi dan distribusi barang	376,150	31,253,764,806
TOTAL			297,948,278,495

Jumlah pendapatan aktual lebih sedikit dari jumlah pendapatan hasil optimasi. Dimana pendapatan aktual dengan pendapatan hasil optimasi memiliki selisih sebesar Rp. 340,416,914,083,-. Apabila perencanaan zonasi dengan proses optimasi diterapkan, maka pendapatan akan meningkat menjadi Rp. 638.365.192.578,-.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Lahan yang bisa digunakan untuk perencanaan zonasi utama adalah sebesar 3373087 m² dan lahan untuk zonasi penunjang sebesar 1028453 m²
2. Alokasi lahan untuk memaksimalkan keuntungan dari sewa lahan untuk zonasi utama adalah sebesar 225708 m² untuk terminal konvensional, 2556224 m² untuk terminal petikemas, 387458 m² untuk terminal curah kering, 12828 m² untuk curah kering, dan 8788 m² untuk terminal penumpang
3. Sedangkan untuk zonasi penunjang sebesar 75654 m² untuk zona perkantoran dan bisnis, 17885 m² untuk zona bisnis dan perdagangan, 178000 m² untuk zona industri, 80000 m² untuk zona fasilitas umum, 137890 m² untuk zona lapangan parkir, dan 539024 m² untuk zona konsolidasi dan distribusi.
4. Keuntungan maksimal dari sewa lahan yang diperoleh adalah sebesar Rp 638.365.192.578,-, mengalami peningkatan dari pendapatan yang diperoleh dari penerapan zonasi aktual sebesar Rp. 297,948,278,495,-, per tahun. Pendapatan hasil optimasi terdiri dari Rp 470,623,090,678 untuk zonasi utama dan Rp 167,742,101,900 untuk zonasi penunjang

5.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang adalah, selain luas lahan dan alokasi zonasi sebagai objek penelitian, perlu juga dirancang sebuah sistem penempatan zonasi berdasarkan jalan akses. Hal ini bertujuan agar selain dapat meningkatkan keuntungan dari sewa lahan, juga akan didapatkan efisiensi lalu lintas barang keluar masuk pelabuhan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim , (2014), *Petunjuk Teknis Penyusunan Rencana Induk Pelabuhan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Laut*, Kementrian Perhubungan Republik Indonesia

Anonim , (2014), *Sustainable Ports, A Guide for Port Authorities*, PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure)

Bazaraa , M.S. (1977), *Linear Programming and Network Flows*, Wiley, New Jersey

Dantzig , G.B. (1963), *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, New Jersey

Gyles , O. (1999), *Linear Programming and Future Landuse Scenarios: An Irrigated Catchment Case Studies*, Australian Agricultural and Resource Economics Society, Christchurch

Rasyid , R.A. (2014), *Optimasi Penentuan Jumlah Gudang Berdasarkan Tipe dan Jenis Untuk Memaksimalkan Keuntungan Pada Proyek Pembangunan Gudang*, Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXI

Sofi, N.A. (2015), *Decision Making in Agriculture, A Linear Programming Approach*, International Journal of Modern Mathematical Science, Florida

Suhardono , A. (2012), *Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian Dengan Program Linier*, Prosiding Seminar Nasional Agrobisnis Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya

Taha, H.A, (2007), *Operation Research: An Introduction (8th edition)*, Pearson Education, New Jersey.

Taylor , B.W. (1982), *Introduction to Management Science*, Prentice Hall, New Jersey

Walker , R.C. (1999), *Introduction to Mathematical Programming*, Prentice Hall,
New Jersey

LAMPIRAN

Optimasi solver untuk zonasi utama

TOTAL KEUNTUNGAN	
MAKSIMAL	470,623,090,678

Terminal konvensional			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan (m2)	Tarif	NJOP (Rp)	Jumlah (Rp)
-	0.05	3,100,000	-
-	0.05	916,000	-
69,012	0.05	1,032,000	3,561,019,278
31,359	0.05	2,352,000	3,687,818,400
125,337	0.05	2,640,000	16,544,439,237
225,708			23,793,276,915

Terminal Petikemas			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan (m2)	Tarif	NJOP	Jumlah
2,000,082	0.05	3,100,000	310,012,657,438
-	0.05	916,000	-
-	0.05	1,032,000	-
-	0.05	2,352,000	-
556,142	0.05	2,640,000	73,410,788,763
2,556,224			383,423,446,200

Terminal Curah Kering			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan (m2)	Tarif	NJOP	Jumlah
387,458	0.05	3,100,000	60,055,934,062
-	0.05	916,000	-
-	0.05	1,032,000	-
-	0.05	2,352,000	-
-	0.05	2,640,000	-
387,458			60,055,934,062

Terminal Curah Cair			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan (m2)	Tarif	NJOP	Jumlah
12,828	0.05	3,100,000	1,988,371,000
-	0.05	916,000	-
-	0.05	1,032,000	-
-	0.05	2,352,000	-
-	0.05	2,640,000	-
12,828			1,988,371,000

Terminal Penumpang			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan (m2)	Tarif	NJOP	Jumlah
8,788	0.05	3,100,000	1,362,062,500
-	0.05	916,000	-
-	0.05	1,032,000	-
-	0.05	2,352,000	-
-	0.05	2,640,000	-
8,788			1,362,062,500

Zonasi	Batas minimal	Batas maksimal
Terminal Konvensional	161500	225,708
Terminal Petikemas	1,452,400	2,556,224
Terminal Curah Kering	256800	387,458
Terminal Curah Cair	8,330	12,828
Terminal Penumpang	7,030	8,788

NJOP	Batasan luas maksimal
3,100,000	2591237
916,000	184619
1,032,000	430639
2,352,000	213441
2,640,000	863561

Solver Parameters

Set Objective:

To: ☒ Max ☐ Min ☐ Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

☐ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method
 Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Optimasi solver untuk zonasi penunjang

TOTAL KEUNTUNGAN	
MAKSIMAL	167,742,101,900

Zona perkantoran dan bisnis			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan	Tarif	NJOP	Jumlah
33,416	0.05	5,095,000	8,512,726,000
-	0.05	3,375,000	-
15,663	0.05	3,100,000	2,427,765,000
-	0.05	2,176,000	-
26,575	0.05	1,722,000	2,288,107,500
75,654			13,228,598,500

Zona bisnis dan perdagangan			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan	Tarif	NJOP	Jumlah
-	0.05	5,095,000	-
-	0.05	3,375,000	-
-	0.05	3,100,000	-
-	0.05	2,176,000	-
17,885	0.05	1,722,000	1,539,898,500
17,885			1,539,898,500

Zona industri			
X_{ij}	C_i	D_j	$X_{ij} * C_i * D_j$
Luas lahan	Tarif	NJOP	Jumlah
-	0.05	5,095,000	-
-	0.05	3,375,000	-
-	0.05	3,100,000	-
111,300	0.05	2,176,000	12,109,440,000
66,700	0.05	1,722,000	5,742,870,000
178,000			17,852,310,000

Zona fasilitas umum			
<i>Xij</i>	<i>Ci</i>	<i>Dj</i>	<i>Xij * Ci * Dj</i>
Luas lahan	Tarif	NJOP	Jumlah
-	0.015	5,095,000	-
-	0.015	3,375,000	-
-	0.015	3,100,000	-
-	0.015	2,176,000	-
80,000	0.015	1,722,000	2,066,400,000
80,000			2,066,400,000

Zona lapangan parkir			
<i>Xij</i>	<i>Ci</i>	<i>Dj</i>	<i>Xij * Ci * Dj</i>
Luas lahan	Tarif	NJOP	Jumlah
-	0.005	5,095,000	-
-	0.005	3,375,000	-
-	0.005	3,100,000	-
-	0.005	2,176,000	-
137,890	0.005	1,722,000	1,187,232,900
137,890			1,187,232,900

Zona konsolidasi dan distribusi barang			
<i>Xij</i>	<i>Ci</i>	<i>Dj</i>	<i>Xij * Ci * Dj</i>
Luas lahan	Tarif	NJOP	Jumlah
475,667	0.05	5,095,000	121,176,168,250
63,357	0.05	3,375,000	10,691,493,750
-	0.05	3,100,000	-
-	0.05	2,176,000	-
-	0.05	1,722,000	-
539,024			131,867,662,000

Zonasi	Luas lahan yang ditempati	alokasi lahan menurut RIP eksisting
Zona perkantoran dan bisnis	75654	150000
Zona bisnis dan perdagangan	17885	200000
Zona industri	178000	150000
Zona fasilitas umum	80000	100000
Zona lapangan parkir	137890	120000
Zona konsolidasi dan distribusi barang	376150	300000

NJOP	Batasan luas lahan
5,095,000	509,083
3,375,000	63,357
3,100,000	15,663
2,176,000	111,300
1,722,000	329,050

Solver Parameters

Set Objective:

To:
☒ Max
☐ Min
☐ Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

\$B\$10 <= \$J\$30

\$B\$10 >= \$I\$30

\$F\$10 <= \$J\$31

\$F\$10 >= \$I\$31

\$J\$10 <= \$AA\$10

\$J\$10 >= \$I\$32

\$N\$10 <= \$J\$33

\$N\$10 >= \$I\$33

\$R\$10 <= \$AA\$10

\$R\$10 >= \$I\$34

\$V\$10 <= \$AA\$10

Add

Change

Delete

Reset All

Load/Save

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Options

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Close

Solve